

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Juni 2006 (29.06.2006)

PCT

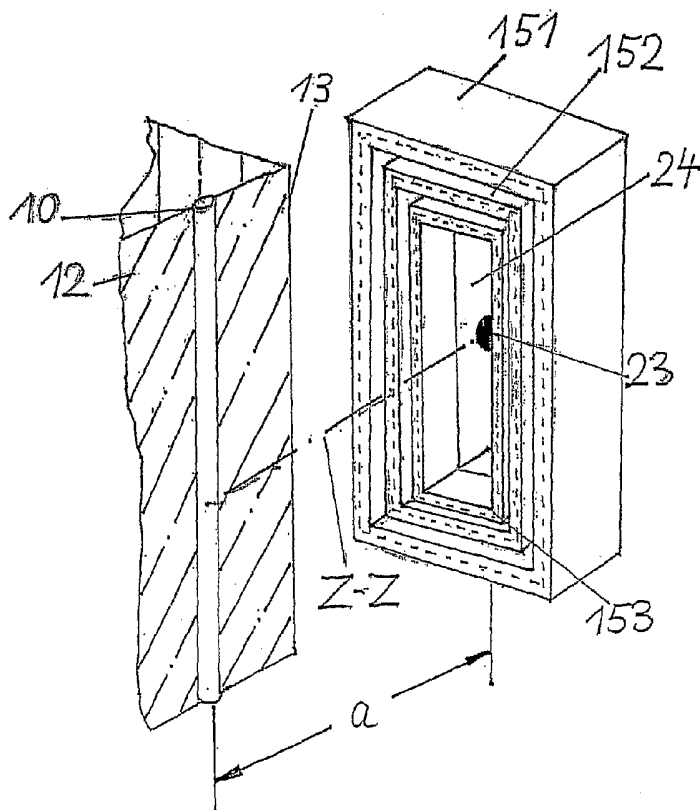
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/066529 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01V 3/08 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2005/002167
- (22) Internationales Anmeldedatum:
29. November 2005 (29.11.2005)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2004 062 181.0
20. Dezember 2004 (20.12.2004) DE
10 2005 026 676.2 7. Juni 2005 (07.06.2005) DE
- (71) Anmelder und
(72) Erfinder: **ANDRÄ, Wilfried** [DE/DE]; Kernbergstr. 39, 07749 Jena (DE). **LAUSCH, Holger** [DE/DE]; Semmelweisstr. 31, 07743 Jena (DE).
- (74) **Anwalt: BOCK, Gerhard**; Bock & Bieber GbR, Hans-Knöll-Str. 1, 07745 Jena (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** ASSEMBLY AND METHOD FOR LOCATING MAGNETIC OBJECTS OR OBJECTS THAT CAN BE MAGNETISED

(54) **Bezeichnung:** ANORDNUNG UND VERFAHREN ZUR ORTUNG VON MAGNETISCHEN ODER MAGNETISIERBAREN OBJEKTEN



(57) **Abstract:** The invention relates to an assembly and a method for locating objects that can be magnetised or magnetic objects, which are situated in non-magnetic media. To increase the detection depth for objects of this type and to permit an unequivocal recording of their form, position and structure on individual detection planes, the assembly is equipped with at least one sensor in a primary magnetic field of a magnetic field generator, the distribution of the magnetisation of the magnetic field in the vicinity of the respective sensor being uniform or known in terms of its local profile.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zur Ortung von magnetischen oder magnetisierbaren Objekten, die sich in nichtmagnetischen Medien befinden. Zur Erhöhung der Nachweistiefe für derartige Objekte sowie zur eindeutigen Erfassung ihrer Form, Lage und Strukturen in einzelnen Nachweisebenen ist mindestens ein Sensor in einem primären Magnetfeld eines Magnetfelderzeugers angeordnet, wobei die Magnetisierungsverteilung des Magnetfeldes in der Nähe des jeweiligen Sensors homogen oder hinsichtlich ihres örtlichen Verlaufs bekannt ist.

WO 2006/066529 A2



TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Anordnung und Verfahren zur Ortung von magnetischen oder magnetisierbaren Objekten

Beschreibung

5

Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zur Ortung von magnetischen oder magnetisierbaren Objekten, gemäß der Gattung der Patentansprüche, wobei sich die Objekte in nichtmagnetischen Medien befinden und bspw. weder optisch noch mechanisch zugänglich sind. Diese Ortung betrifft bspw. die Bestimmung der Lage, Form und Orientierung von Stahlarmerungen im Beton ebenso wie bei der Erkundung von Stahlträgern im Mauerwerk oder Erdboden oder wie die Feststellung von Schiffsankern im Meeresgrund, um nur einige Anwendungsfälle zu nennen.

15

Für die Ortung von Stahlteilen im Beton werden bekanntlich verschiedene Verfahren verwendet, von denen besonders die magnetischen Verfahren praktische Anwendung gefunden haben, die sowohl als Gleichfeld- als auch als Wechselfeldverfahren verwendet werden.

20

Beim Gleichfeldverfahren wird entweder die Kraft gemessen, die zwischen der Bewehrung und einem außerhalb des Betons befindlichen Permanentmagneten wirkt, oder es wird das magnetische Streufeld der durch einen Dauermagneten magnetisierten Bewehrung gemessen, siehe [1] in der am Ende der Beschreibung befindlichen Literaturliste. Der Nachteil des Kraftmessverfahrens besteht darin, dass die Kraft mit dem Abstand stark abnimmt und daher tief liegende Bewehrungen nicht erfasst werden können. Beim Streufeldverfahren ist dem magnetischen Streufeld der Bewehrung das Magnetfeld des Dauermagneten überlagert, das im Allgemeinen viel stärker ist als das Streufeld und daher nur mit einem relativ großen Fehler von dem zu messenden Streufeld eliminiert werden kann. Beide Gleichfeldverfahren werden daher nur zur relativ groben Ortung von magnetischen Objekten eingesetzt [1].

35

Beim Wechselfeldverfahren wird die Bewehrung durch ein magnetisches Wechselfeld magnetisiert. Dabei werden in der

- 2 -

Bewehrung auch elektrische Wirbelströme angeregt. Es wird in jedem Fall ein magnetisches Wechselfeld erzeugt, das von der Bewehrung ausgeht und bspw. die Induktivität einer das Wechselfeld erzeugenden Spule verändert. Die Ortung der Bewehrung erfolgt im Allgemeinen durch Auswertung der veränderten komplexen Impedanz eines elektrischen Kreises, der die Erzeugerspule für das primäre Magnetfeld enthält [1-5]. Das Wechselfeld bietet prinzipiell die Möglichkeit, auch nichtmagnetische Bewehrungen (z. B. aus Edelstahl) zu orten. Aus unterschiedlichen Gründen, bspw. wegen des Einflusses der elektrischen Leitfähigkeit des Betons, ist bisher die sichere Ortung von Bewehrungselementen, die eine Betondeckung von mehr als 15 cm haben, praktisch nicht gelungen. An diesem Zustand vermögen auch verbesserte Auswertelgorithmen nichts zu ändern [6, 7].

Außer magnetischen wurden auch andere physikalische Wirkmechanismen für die Ortung von Bewehrungselementen in Betonkörpern abgewendet, wie z. B. Ultraschall [8-11], Neutronenbeugung und -absorption [12], Infrarotreflexion [13], Radarmessungen [14-16] und Röntgen- bzw. Gammastrahlen [1]. Aber auch diese Wirkmechanismen haben bisher nicht zu besseren Ergebnissen geführt als die o. g. magnetischen Mittel und Verfahren.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, die Nachweistiefe für ferromagnetische Objekte in nichtmagnetischen Medien nicht nur zu erhöhen, sondern auch ihre Form, Lage und Strukturen in einzelnen Nachweisebenen und nach Nachweisebenen getrennt, eindeutig zu erfassen.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe durch die Merkmale des ersten Patentanspruchs gelöst und durch die Merkmale der Unteransprüche vorteilhaft ausgestaltet. Die Magnetfelderzeuger können von variierbaren elektrischen Strömen durchflossene Spulen mit unterschiedlicher Form und Größe oder unterschiedlich gestaltete Permanentmagnete oder eine Kombination beider sein. Die zu detektierenden Objekte werden durch das erzeugte Primärmagnetfeld vorgegebener Feldverteilung und veränderlicher Stärke einschließlich Polung magnetisiert. Das danach vom jeweiligen Objekt erzeugte

- 3 -

magnetische Streufeld wird während des wirkenden Primärfeldes bzw. nach Ausschaltung des Primärfeldes mit Hilfe eines magnetischen Sensors gemessen, der zumindest mit einem magnetfeldempfindlichen Teil im Streufeld angeordnet ist. Dieses Teil kann ein kleiner magnetischer Messkörper sein, auf den das magnetische Streufeld eine Kraft (i. A. in der Größenordnung von μN) auswirkt und ihn deshalb in Richtung der Feldlinien verstellt. Die Verstellung kann elektrisch (induktiv, kapazitiv), optisch (bspw. interferometrisch), akustisch oder mechanisch (Zeigersystem mit Skala) gemessen werden. Wird die Messung während der Einwirkung des Primärmagnetfeldes vorgenommen, müssen der/die Messkörper im homogenen Bereich des Primärmagnetfeldes angeordnet sein, um dessen Kraftwirkung auf den Messkörper zu eliminieren. Um die magnetischen oder magnetisierbaren Objekte in verschiedenen Tiefen in nichtmagnetischen Medien erfassen zu können, wird ein System von Magnetfelderzeugern, vorzugsweise von elektrischen Spulen, verwendet, das ein Primärmagnetfeld erzeugt, dessen auf der gemeinsamen Spulenachse liegendes Maximum im variablen Abstand von der Mittelebene des Spulensystems eingestellt und verändert werden kann. Die flächenhafte Erfassung von magnetischen Objekten in einem nichtmagnetischen Medium ist durch eine cluster- oder matrixartige Mehrfachanordnung von Messkörpern nebeneinander, in einer Fläche liegend, möglich. Der aus einem weich- oder hartmagnetischen Material bestehende Messkörper ist vorteilhaft jeweils mit dem Magnetfelderzeuger elastisch verbunden, so dass er sich im Wesentlichen rechtwinklig zur Mittelebene des Magnetfelderzeugers zumindest um kleine Beträge bewegen kann. Die elastische Befestigung besitzt günstiger Weise mindestens eine mechanische Eigenfrequenz, bei deren Anregung eine deutliche Amplitudenerhöhung der angeregten Schwingungen des Messkörpers eintritt. Ggf. kann eine Fläche des Messkörpers als Kondensatorelektrode ausgebildet sein.

Der Magnetsensor kann auch ein ein-, zwei- oder dreiachsiges Magnetometer sein, mit welchem das magnetische Streufeld des magnetischen Objektes in Bezug auf charakteristische Parameter seiner räumlichen Verteilung bestimmt wird. Der zur Anwendung kommende optimale Magnetometertyp ergibt sich aus der erforderlichen Messgenauigkeit und dem zulässigen technischen Aufwand. Es kann ein

- 4 -

SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) grundsätzlich ebenso verwendet werden wie ein Fluxgate oder ein magnetoresistives oder ein nach dem Halleffekt arbeitendes Magnetometer. Wichtig ist, dass das für Streufeldmessungen erforderliche Magnetometer-Volumen
5 klein ist im Verhältnis zur geforderten Ortungsgenauigkeit. Deshalb sind magnetoresistive Magnetometer oder Halleffekt-Magnetometer vorteilhaft verwendbar.

Anstatt einer Kraftmessung kann auch eine Messung charakteristischer Parameter des Streufeldes erfolgen und daraus die Ortung (umfassend
10 die Lage, Form, Orientierung, Abmessung) magnetischer (einschließlich magnetisierter) Objekte abgeleitet werden. Derartige charakteristische Parameter sind Richtung und Feldstärke des Streufeldes, die an einem oder mehreren Orten gemessen werden, die zueinander eine bekannte räumliche Beziehung haben, während sich das magnetisierte Objekt in
15 unterschiedlichen Magnetisierungszuständen befindet. Die Messungen im unterschiedlichen Magnetisierungszustand ermöglichen die Eliminierung von magnetischen Hintergrundfeldern, z. B. des Erdfeldes. Im einfachsten Fall werden die nach der Aufmagnetisierung mit entgegengesetztem Vorzeichen mittels mindestens eines Magnetometers
20 gemessenen Magnetfeldkomponenten des Streufeldes voneinander abgezogen, um den Einfluss eines Hintergrundfeldes auszuschalten. Das Hintergrundfeld selbst kann dadurch bestimmt werden, dass die nach dem Aufmagnetisieren mit entgegengesetztem Vorzeichen gemessenen Magnetfeldkomponenten addiert werden.

Da die räumliche Verteilung des Streufeldes vom Ort, von der Form und vom Magnetisierungszustand des Objektes bestimmt ist, können im
25 Prinzip aus der vollständigen Messung der Feldverteilung diese zunächst unbekanntes Daten ermittelt werden. Mit Einschränkungen können diese Daten auch bestimmt werden, wenn die Messungen nur in einem Teilvolumen oder sogar nur an einem einzigen Ort durchgeführt werden. Bei einfachen Formen des Objektes, etwa bei Kugeln oder bei
30 sehr lang ausgedehnten Stäben, genügen wegen der Symmetrie der Magnetfeldverteilung wenige Messungen an bestimmten Stellen.

Besonders einfach ist das Verfahren in dem Fall, wenn das Objekt
35 homogen magnetisiert ist und infolge dessen eine berechenbare Verteilung von magnetischen Oberflächenladungen aufweist, aus der die

- 5 -

Streufeldverteilung theoretisch abgeleitet werden kann. Wegen der Abnahme der Stärke des magnetischen Streufeldes mit der Entfernung kann eine inhomogene Magnetisierungsverteilung im Objekt dann toleriert werden, wenn diese in der Nähe der Messstellen hinreichend
5 gut durch eine homogene Verteilung angenähert werden kann oder wenn der örtliche Verlauf der Inhomogenität bekannt ist.

Die örtliche Verteilung von magnetischen Primärfeldern, die durch stromdurchflossene Spulen erzeugt werden, kann mit Hilfe des Gesetzes
10 von Biot und Savart beliebig genau berechnet werden. Diese einfache Berechenbarkeit ist von Vorteil für diese Art von Felderzeugung. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass durch Abschalten der Ströme das magnetische Primärfeld vollständig ausgeschaltet werden kann. Günstig ist es ferner, dass durch Verändern der Stärke der elektrischen Ströme,
15 die in mehreren Spulen fließen, die örtliche Verteilung des magnetischen Primärfeldes verändert werden kann. Z. B. können das Maximum oder der Nulldurchgang des magnetischen Primärfeldes auf der gemeinsamen Spulenchse zweier konzentrischer Spulen an unterschiedliche Stellen gelegt werden. Eine nützliche Eigenschaft von
20 Spulenfeldern besteht auch darin, dass durch besondere Spulen (Kompensationsspulen), die dicht am Magnetometer angebracht sind, das magnetische Primärfeld am Ort des Magnetometers kompensiert und dadurch die Messgenauigkeit deutlich erhöht werden kann.

Sind starke magnetische Primärfelder in größeren Abständen vom
25 Magnetometer zu erzeugen, so ist es vorteilhaft, hierzu Dauermagnete zu benutzen. Bei Dauermagneten wird die zur Magnetisierung eines Objektes erforderliche elektrische Leistung im Allgemeinen nur einmal und während einer kurzen Zeitperiode benötigt. Die dabei aufgewendete Energie wird bei der späteren Verwendung nicht nochmals benötigt.
30 Wenn die Dauermagnete bei der Anwendung für die Ortung bewegt, bspw. zur Eliminierung des Hintergrundfeldes gedreht werden müssen, ist eine wesentlich kleinere Leistung erforderlich.

Mit bekannten mathematischen Verfahren, z. B. mit Hilfe der Methode
35 der finiten Elemente, kann die Magnetisierungsverteilung in Objekten beliebig genau berechnet werden, wenn bestimmte Parameter, wie z. B.

- 6 -

die Verteilung des Primärfeldes, am Ort der Objekte und die magnetische Suszeptibilität der Objekte bekannt sind. Das Primärfeld ist grundsätzlich bekannt. Dagegen ist die Suszeptibilität der Objekte im Allgemeinen nicht bekannt. Wenn aber die Objekte einfache geometrische Formen besitzen (bspw. Kugel oder Zylinder mit großem Verhältnis Länge zu Durchmesser), dann wird die Magnetisierungsverteilung durch die so genannte magnetische Formanisotropie bestimmt, bei der in magnetischen Primärfeldern, in denen die Objekte genügend weit vom Zustand der magnetischen Sättigung entfernt sind, ein nahezu konstantes Verhältnis zwischen der Magnetisierung des Objektes und der Stärke des Primärfeldes besteht, dessen Wert durch die Form des Objektes bestimmt ist. Bei einfachen Formen wird die magnetische Formanisotropie durch den so genannten Entmagnetisierungsfaktor bestimmt, der für Kugeln den Wert $1/3$, für lange Zylinder $1/2$ (bei Magnetisierung senkrecht zur Zylinderachse) bzw. 0 (bei Magnetisierung parallel zur Zylinderachse) beträgt. Für Objekte in der Form von Ellipsoiden ist der Entmagnetisierungsfaktor aus den drei Achsen der Ellipsoiden berechenbar. Besonders einfach wird die Berechnung, wenn das Primärfeld am Ort des Objektes homogen, also hinsichtlich Richtung und Feldstärke unabhängig vom Ort ist. Dann ergibt sich für die oben genannten einfachen Objektformen eine homogene Verteilung der Objektmagnetisierung. Für die praktische Anwendung muss das Primärfeld nicht vollständig homogen sein. Es genügt, wenn das Primärfeld in einem Teilvolumen des Objektes, das für die Berechnung des Streufeldes verwendet wird, näherungsweise durch ein homogenes Feld beschrieben werden kann. Das ist im Allgemeinen der Fall, sobald das betreffende Teilvolumen in allen drei Dimensionen kleiner ist, als der Durchmesser der Spulen, die das Primärfeld am Ort des Objektes zu mehr als 50 % bestimmen, oder bei Erzeugung mit Dauermagneten, wenn das betreffende Teilvolumen kleiner ist als das Volumen der felderzeugenden Dauermagnete.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Berechnung der Magnetisierungsverteilung ist, dass die Streufelder benachbarter Objekte viel schwächer sind als das Primärfeld. Diese Voraussetzung ist im Regelfall erfüllt, wenn die Abstände zwischen benachbarten

- 7 -

Objekten mindestens zweimal größer sind als die kleinste Abmessung der Objekte.

Die Verteilung des Streufeldes, das von den magnetischen Polen ausgeht, die in den Objekten durch ein gegenwärtiges Primärfeld oder durch die remanente Magnetisierung nach Abschalten des Primärfeldes vorhanden ist, kann mit bekannten mathematischen Verfahren prinzipiell für beliebige Polverteilungen berechnet werden. Besonders einfache örtliche Verteilungen in den Streufeldern ergeben sich in den Fällen, die durch einen magnetischen Monopol oder einen magnetischen Dipol oder durch einfache Dipolverteilungen (bspw. Linien-Dipol) repräsentiert werden. Für die Vereinfachung der Berechnung ist es vielfach ausreichend, die örtliche Verteilung innerhalb begrenzter Volumina zu berechnen. Entsprechend der speziellen Ortungsaufgabe kann z. B. die Berechnung einer Feldkomponente (bspw. der Komponente parallel zu einer Primärfeldspule) als Funktion des Ortes auf einer Symmetrieachse dieser Spule genügen, um die Entfernung zwischen Objekt und Magnetometer zu bestimmen. Ein anderer einfacher Fall liegt vor, wenn die Richtung vom Magnetometer zu einem Objekt bestimmt werden soll. In diesem Fall ist die Messung der Streufeldkomponenten in einer Ebene senkrecht zur Verbindungssachse zwischen Magnetometer und Objekt vorteilhaft.

Alternativ zu den Berechnungen der Streufelder können empirische Verfahren, wie z. B. das Aufstellen einer Bibliothek von gespeicherten Streufeldverteilungen, für die Ortung benutzt werden. Die gespeicherten Streufeldverteilungen bestehen jeweils aus einer Basisverteilung und einigen charakteristischen Parametern, mit denen die Basisverteilung variiert werden kann. Bei den meisten Ortungsaufgaben kann die Basisverteilung als bekannt angenommen werden. Ein typisches Beispiel ist die Aufgabe, einen oder mehrere zylindrische Bewehrungsstäbe im Beton zu orten, die parallel zueinander und zur Oberfläche eines Betonbauteils angeordnet sind. Die charakteristischen Parameter sind dabei die Dicke der Stäbe, die Entfernung von der Betonoberfläche, die Richtung der Stäbe und der gegenseitige Abstand der Stäbe. Eine Software, mit der eine Parameter-Bibliothek verwaltet

- 8 -

werden kann, ermöglicht den Vergleich der an bestimmten Positionen gemessenen Streufeldwerte mit den in der Bibliothek vorhandenen Werten. Die charakteristischen Parameter werden variiert und diejenigen Parameterwerte ausgegeben, mit denen die beste Übereinstimmung
5 zwischen Messwerten und Bibliothekswerten erreicht wird. Wesentlich ist dabei, dass die funktionelle Abhängigkeit der Bibliothekswerte von den verschiedenen Parametern, wie z. B. von der Stabdicke und vom Abstand zwischen Stab und Magnetometer, unterschiedlich ist. Um mögliche Mehrdeutigkeiten zu vermeiden, dass bspw. ein tiefer
10 liegender dicker Stab dieselben Streufeldwerte im Sensor (Magnetometer) erzeugt, wie ein näher gelegener dünner Stab, können mehrere Sensoren, bspw. Magnetometer, mit definierter gegenseitiger Positionierung verwendet werden.

15 Ein Verfahren zur Ortung von magnetischen oder magnetisierbaren Objekten, die sich in nichtmagnetischen Medien befinden, ist gekennzeichnet durch die Erzeugung eines primären Magnetfeldes mit Hilfe von Spulen, Elektromagneten oder Dauermagneten, dem die Objekte ausgesetzt werden. Danach wird die örtliche Verteilung des
20 magnetischen Streufeldes der Objekte bestimmt und der Betrag und die Richtung des magnetischen Streufeldes an definierten Orten mit Hilfe von Sensoren gemessen. Schließlich findet ein Vergleich der Messwerte mit im Voraus ermittelten Werten statt. Dieser Vergleich kann elektronisch mit gespeicherten Vergleichsstreufeldern vorgenommen
25 werden. Die örtliche Verteilung des magnetischen Streufeldes der Objekte kann auch durch die Bestimmung des Gradienten dieses Streufeldes vorgenommen werden.

Die Erfindung wird nachstehend an Hand der schematischen Zeichnung
30 von fünf Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem Kraftmesser,

Fig. 2 die prinzipielle Anordnung von Messkörpern und Kondensatoren einer zweiten Ausführungsform der
35 Erfindung,

- Fig. 3 eine netzförmige Anordnung von Messkörpern einer dritten Ausführungsform der Erfindung,
Fig. 4 die Verwendung nur eines Sensors für mehrere Messkörper in einer vierten Ausführungsform der Erfindung,
5 Fig. 5 ein Ausführungsbeispiel mit rechteckförmigen Spulen und einem Magnetometer,
Fig. 6 ein Diagramm zur Lage des Maximums und des Nulldurchgangs des Gesamtfeldes bezüglich der Spulenchse bei Verwendung zweier Primärfeldspulen,
10 Fig. 7 ein Diagramm zur Lage des Maximums und des Nulldurchgangs des Gesamtfeldes bei Verwendung zweier Primärfeldspulen und einer Kompensations-Spule und
Fig. 8 ein Diagramm zum Einfluss der Versetzung des Sensors gegenüber einem magnetischen Objekt auf die Streufeldkomponenten am Ort des Magnetometers.
15

Fig. 1 zeigt ein stabförmiges Bewehrungselement (Objekt) 10 innerhalb eines Betonkörpers (nichtmagnetisches Medium) 12 mit einer Betonoberfläche 13. Das primäre Magnetfeld 14 einer bspw.
20 Kupferdraht gewickelten stromdurchflossenen Spule 15 magnetisiert den Stab 10 entsprechend der magnetischen Feldstärke auf. Die durch Pfeile angedeutete Stabmagnetisierung 16 erzeugt ein Streufeld, das sich dem Primärfeld 14 überlagert. Mit dem das Primärfeld 14 darstellenden Pfeil fällt die geometrische Achse Z-Z der Spule 15 zusammen. Beide
25 Magnetfelder wirken auf einen magnetischen Messkörper 17 in unterschiedlicher Weise. Während das am Ort des Messkörpers 17 homogene Primärfeld 14 trotz seiner gegenüber dem Streufeld viel größeren Feldstärke keine translatorische Kraft ausübt, erzeugt das stark inhomogene Streufeld eine anziehende Kraft auf den im Primärfeld 14
30 aufmagnetisierten Messkörper 17, dessen durch Pfeile angedeutete Magnetisierung 18 parallel zum Primärfeld 14 gerichtet ist. Die anziehende Kraft bewirkt eine Verschiebung des mit einer flexiblen Halterung 19 am Spulengehäuse befestigten Messkörpers 17, deren Betrag bspw. durch die Änderung der elektrischen Kapazität eines
35 Kondensators 11 gemessen wird, der aus einer Gegenelektrode 20 und der Oberfläche 17' des Messkörpers 17 besteht. Die Stärke der

- 10 -

Verschiebung hat ihr Maximum, sobald der Abstand zwischen dem Stab 10 und dem Messkörper 17 sein Minimum hat. Auf diese Weise kann durch Bewegung von Spule 15 und Messkörper 17 parallel zur Betonoberfläche der Stab 10 geortet und mit einer Anzeige-, Registrier- und Auswerteeinrichtung 22 sichtbar gemacht werden. Diese Verschiebung kann sowohl elektrisch als auch mittels anderer physikalischer Verfahren (z. B. optisch oder akustisch mit Ultraschall usw. gemessen werden). Der Messkörper 17 kann sich ebenfalls in einem Fluidum befinden. Die das Magnetfeld 14 erzeugende Spule 15 kann eine runde oder vorteilhaft rechteckförmige Gestalt und eine dementsprechende magnetische Feldverteilung aufweisen. Im letztgenannten Fall ist es günstig, wenn die längere Kante der Spule 15 parallel zum Stab 10 verläuft.

Die Nachweisempfindlichkeit der Verschiebung des Messkörpers 17 kann dadurch erhöht werden, dass der Messkörper aus einem permanent magnetischen Material besteht, dessen Magnetisierung bspw., wie in Fig. 1 dargestellt, nach links zeigt. Da die remanente Magnetisierung des Dauermagnetmaterials viel größer sein kann als die im Primärfeld 14 erzeugte Magnetisierung des weichmagnetischen Messkörpers, kann die auf den Messkörper wirkende Kraft viel stärker sein. Außerdem ist es möglich, durch Umpolung des Primärfeldes 14 die Richtung der auf den dauermagnetischen Messkörper 17 ausgeübten Kraft umzukehren.

Die Nachweisempfindlichkeit kann ferner dadurch erhöht werden, dass das Primärfeld 14 periodisch ein- und ausgeschaltet, verändert oder periodisch umgepolt wird, wobei die Zahl der Perioden pro Sekunde so gewählt wird, dass sie in der Nähe der halben oder ganzen mechanischen Eigenfrequenz der Halterung 19 und/oder der elektrischen Eigenfrequenz des Schaltkreises zur Messung der Kapazitätsänderung liegt.

Die Messung der Betondeckung wird auch dadurch verbessert, dass ein System von Spulen eingesetzt wird, das ein Primärfeld 14 erzeugt, dessen auf der Spulenchse Z-Z liegendes Maximum oder der Nulldurchgang im variablen Abstand von einer rechtwinklig zur Spulenchse gerichteten Mittelebene der Spulenanordnung einstellbar und veränderbar ist. Dadurch können auch hintereinanderliegende Bewehrungselemente unabhängig voneinander geortet werden, weil sie

- 11 -

verschieden stark magnetisiert und mit ihrer Kraftwirkung auf den Messkörper 17 getrennt erfassbar sind.

5 In Fig. 2 sind mehrere, die Elemente 17, 17', 19, 20 und 11 in Fig. 1 umfassende Sensoren in linearer Anordnung dargestellt, so dass jeweils die Messkörper 171 bis 175 den Elektroden 201 bis 205 gegenüberstehen. Dabei können die jeweils zusammengehörenden, einander gegenüberstehenden Messkörper und Elektroden sowohl innerhalb einer einzigen Spule als auch jedes Paar für sich in einer
10 zugehörigen Spule angeordnet sein. Auf der linken Seite der Fig. 2 sind die Messkörper 171 bis 175 ohne Streufeldeinfluss und auf der rechten Seite unter dem Einfluss eines Streufeldes dargestellt, wobei die Messkörper 172, 173, 174 eine deutliche Verschiebung gegenüber den Elektroden 202, 203, 204 erkennen lassen. Da die örtliche Verteilung
15 des Streufeldes von der Form des zu ortenden magnetischen Gegenstandes abhängt, kann durch getrennte Messung der Verschiebungen der einzelnen Messkörper auf die Form des zu ortenden Gegenstandes geschlossen werden.

20 In Fig. 3 ist die Anordnung der Messkörper 170 matrixartig getroffen, so dass alle Einflüsse des Streufeldes in einer Ebene erfasst werden können. Analog zur Fig. 2 wirkt auf der linken Seite kein Streufeld, während auf der rechten Seite ein deutlicher Einfluss eines wirkenden Streufeldes erkennbar ist.

25 In Fig. 4 ist deutlich gemacht, dass mehrere nebeneinander angeordnete Messkörper 170 auf einen gemeinsamen Sensor 21 einwirken. Dieser Sensor kann sowohl als Kondensator als auch optischer oder akustischer Sensor gestaltet sein.

30 In Fig. 5 sind koaxial zu einer Achse Z-Z drei Rechteckspulen 151, 152, 153 ineinander angeordnet. In einer zu den Spulenebenen parallelen und auf der Achse Z-Z senkrechten Mittelebene 24 ist ein Magnetometer 23 vorgesehen. Im Abstand a vom Magnetometer befindet sich ein Bewehrungsstab 10, der parallel zu den langen Kanten der Rechteckspulen und zur Außenfläche 13 des Betonkörpers 12 verläuft.
35

Beim Einschalten der Spulenströme bildet sich ein Primärfeld aus, das den Bewehrungsstab 10 magnetisiert und ein Streufeld ausbildet. Zunächst wird von den beiden Spulen 151, 152 ausgegangen. Die diese Spulen durchfließenden Elektrischen Ströme haben entgegengesetzte Vorzeichen, so dass die magnetischen Felder beider Spulen entgegengesetzt gerichtet sind. Das Produkt $N \cdot I$ aus Windungszahl (N) und Stromstärke (I) des durch die Spulen fließenden Stroms wird bei der kleineren Spule 152 so verändert, dass sein Betrag zwischen 0 und 100 % des entsprechenden Produkts der größeren Spule 151 liegt.

Im Diagramm der Fig. 6 ist über der Spulenachse Z-Z als Abszisse der Quotient h_z aus der Z-Komponente des Primärfeldes der Spulen zu dem Magnetfeld der größeren Spule, im Zentrum dieser Spule gemessen, als Ordinate aufgetragen. Die Fig. 6 zeigt für ein Beispiel zweier koaxial angeordneter Kreisspulen mit einem Radius von 30 cm für die größere und von 10 cm für die kleinere Spule, wie durch die Veränderung dieses Produktes $N \cdot I$ der kleineren Spule das Maximum des magnetischen Gesamtfeldes auf der gemeinsamen Spulenachse Z-Z verschoben wird. Ferner zeigt Fig. 6, wie die Position auf der Achse verschoben wird, an welcher das Gesamtfeld praktisch Null ist (Nulldurchgang). Die Kurven 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 und 1,0 stellen die Veränderungen dar, die sich bei 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % und 100 % im Produkt für die kleine Spule 152 ergeben. Die Nulldurchgänge der Kurven 0,4; 0,6; 0,8 und 1,0 liegen entsprechend bei einem Abstand von ca. 3,8 cm; 7,5 cm; 10 cm und 12 cm auf der Achse Z-Z. Alle Positionen sind von dem in der Mittelebene 24 liegenden Spulenzentrum aus gemessen, das auch der Ort des Magnetometers 23 ist.

Durch diese Veränderung kann erreicht werden, dass näher an der Spulenkombination gelegene Objekte weniger stark oder mit einem Primärfeld anderen Vorzeichens magnetisiert werden als weiter entfernte Objekte und entsprechend einstellbare Streufelder erzeugen. Durch zusätzliche Änderungen der Durchmesser beider Spulen und durch Einbeziehen weiterer Spulen (153) können die Variationen des magnetischen Primärfeldes darüber hinaus erweitert werden. So kann durch die dritte Spule (Kompensationsspule) 153 das magnetische Primärfeld im Zentrum der Spulenanordnung stark erniedrigt werden,

- 13 -

ohne den Feldverlauf in größeren Abständen vom Zentrum wesentlich zu verändern. Auf diese Weise wird der im Zentrum angeordnete Magnetsensor 23 keinen starken Magnetfeldern ausgesetzt, siehe Fig. 7.

5 Die Fig. 7 zeigt analog zur Fig. 6 den Verlauf eines Primärfeldes auf der gemeinsamen Spulenchse Z-Z als Funktion des Abstands Z vom Spulenzentrum. In diesem Beispiel besteht die Spulenkombination aus drei coaxialen kreisförmigen Spulen. Die größte dieser Spulen besitzt bspw. einen Radius von 20 cm, die mittlere Spule einen Radius von
10 10 cm und die kleinste Spule, die als Kompensationsspule vorgesehen ist, einen Radius von 1,5 cm. Die Fig. 7 zeigt, dass durch Einstellen des Produktes $N \cdot I$ der Kompensationsspule stets das Gesamt-Primärfeld am Ort des Magnetometers 23 zum Verschwinden gebracht werden kann. Das Verhältnis der Produkte $N \cdot I$ der beiden größeren Spulen ist so
15 gewählt, dass weitere Nulldurchgänge des Gesamt-Primärfeldes auf der Achse Z-Z in unterschiedlichen Abständen vom Spulenzentrum 0 liegen. Die Kurven 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 stellen die Veränderungen dar, die sich bei Änderung im Verhältnis der Produkte $N \cdot I$ der beiden größeren Spulen auf das Maximum des Gesamt-
20 Primärfeldes ergeben. Für ein Verhältnis des Produktes der mittleren Spule zu dem der großen Spule von 60%; 80%; 100%; 120% ergeben sich Abstände von 4 cm; 7,5 cm; 10 cm; 12 cm.

Das Diagramm der Fig. 8 zeigt, wie sich bei einer Bewegung des
25 Magnetometers 23 parallel zur Betonoberfläche 13, die mit dem Magnetometer 23 gemessenen Streufeldkomponenten verändern. Dabei ist das Magnetometer 23 im Zentrum der Spulenkombination angeordnet. Durch die Abszisse ist der Abstand x des Stabes vom Magnetometer in der Spulenebene senkrecht zum Stab (Objekt) 10
30 gekennzeichnet. Auf der Ordinate ist der Quotient der Streufeldkomponenten geteilt durch die remanente Magnetisierung des Objektes 10 aufgetragen und mit h_x und h_z bezeichnet. Als Quelle des Primärfeldes ist eine einzige rechteckförmige Spule angenommen, deren lange Kante parallel zum stabförmigen Objekt 10 liegt und eine
35 Kantenlänge von 50 cm besitzt. Die Länge der kürzeren Kante beträgt 20 cm. Das stabförmige Objekt 10 besitzt einen Durchmesser von 1 cm.

Im Abstand $a = 10$ cm zwischen dem Objekt 10 und der Ebene in der das Magnetometer senkrecht zur Achse des Objektes 10 und parallel zur Außenfläche 13 bewegt wird, ergibt sich ein Maximum von h_z sobald die Z-Z-Achse der Spule das Objekt 10 schneidet. Durch Bewegen des Magnetometers 23 parallel zur Betonoberfläche 13 wird demnach die Position auf der Betonoberfläche gefunden, unter der das Objekt 10 liegt. Bei einer geringen seitlichen Verschiebung aus dieser Lage werden Streufeldkomponenten gemessen, deren Vorzeichen und Größe anzeigen, in welcher Richtung und um welche laterale Strecke das Magnetometer 23 gegenüber dem Objekt 10 versetzt ist. Die Koordinate, die sowohl zur Z-Z-Achse wie zur Achse des stabförmigen Objektes 10 senkrecht gerichtet ist, wird X-Achse genannt. Die zur X-Achse parallele Komponente des Streufeldes am Ort des Magnetometers 23 wird Null, wenn das Objekt auf der Achse Z-Z liegt. Dann kann aus dem Betrag der Z-Komponente des Streufeldes der Abstand a und der Durchmesser des Objektes 10 bestimmt werden, wenn die Stärke des magnetischen Primärfeldes am Ort des Objektes 10 kontrolliert verändert wird. Eine näherungsweise Rechnung ergibt, dass die Z-Komponente des Streufeldes proportional dem Produkt aus dem Quadrat des Objektdurchmessers und der Primärfeldstärke ist und mit einer numerisch berechenbaren Funktion des Abstandes a abfällt. Da die Primärfeldstärke am Ort des Objektes verändert werden kann, während der Objektdurchmesser konstant bleibt, kann (bspw. durch Variation des Nulldurchgangs des Primärfeldes) zunächst der Abstand a und danach mit bekanntem a der Objektdurchmesser ermittelt werden. Bei entsprechender Einstellung des Nulldurchgangs des Primärfeldes wird bewirkt, dass ein Objekt in einer bestimmten Tiefe praktisch kein Streufeld erzeugt, während ein tiefer gelegenes Objekt ein messbares Streufeld aufweist.

30

Alle in der Beschreibung, den nachfolgenden Ansprüchen und der Zeichnung dargestellten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

Bezugszeichenliste

	10	Bewehrungselement, Objekt, Stab
	11	Kondensator
5	12	Betonkörper
	13	Betonkörperoberfläche
	14	Primär-Magnetfeld
	15	Magnetfelderzeuger, Spule, Permanentmagnet
	16, 18	Magnetisierungen
10	17	Messkörper
	17'	Messkörperoberfläche
	19	flexible (elastische) Halterung
	20	Gegenelektrode
	21	Kondensator, Sensor
	22	Anzeige-, Registrier- und Auswerteeinrichtung
15	23	Magnetometer
	24	Mittelebene
	201, 202, 203, 204, 205	Gegenelektroden
	151, 152, 153	Rechteckspulen
	170, 171, 172, 173,	
20	174, 175	Messkörper
	X-X, Y-Y, Z-Z	Achsen
	a, x	Abstand
	0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8;	
	1,0; 1,2	Kurven
25		
30		

Literaturliste

- 5 [1] C. Flohrer „Messung der Betondeckung und Ortung der Bewehrung“, DGZfP-Berichtsband 66-CD der Fachtagung Bauwerksdiagnose – Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen v. 21.–22. Januar 1999, Vortrag 4
- [2] H. Fudo et al. Jap. Patent. 09021786 (1997)
- [3] Y. J. Kim & H.G. Moon US 6,414,484 (2002)
- [4] P. A. Gaydecki et al., Measurement Science and Technology 13 (2002) 1327-1335
- 10 [5] G. Miller et al. , 42nd Annual British Conf. on NDT (2003) 133-138
- [6] S. Queck et al., NDT&E International 35 (2002) 233-240
- [7] M. Zaid et al. 42nd Annual British Conf. on NDT (2003) 257-262
- [8] K. Yamada & T. Amano Jap.Patent 2003014704 (2003)
- 15 [9] M. Woodcock & R. Holt PCT/US95/07160 (1995)
- [10] P. A. Gaydecki & F. M. Burdekin PCT/GB91/01905 (1992)
- [11] M. Schickert, DGZfP-Berichtsband BB 85-CD (2003) 1-11
- [12] H. Chisake & Y. Totoki, Jap Patent 2001041908 (2001)
- [13] C. Florin, DE 197 52 572 (1999)
- 20 [14] R. Göttel et al., ITG-Fachberichte 149 (1998) 193-196
- [15] S. Cardimona et al., Geophysics 2000, 1st Int. Conf. on the Application of Geophysical Methodologies and NDT to Transportation Facilities and Infrastructure (2000) 4-23
- [16] A. Shaari et al., Insight 44 (2002) 756-758
- 25

Patentansprüche

1. Anordnung zur Ortung von magnetischen oder magnetisierbaren
Objekten, die sich in nichtmagnetischen Medien befinden, dadurch
gekennzeichnet, dass mindestens ein Sensor in einem primären
Magnetfeld mindesten eines Magnetfelderzeugers angeordnet und
die Magnetisierungsverteilung des Magnetfeldes in der Nähe des
jeweiligen Sensors homogen oder hinsichtlich ihres örtlichen
Verlaufs bekannt ist.
2. Anordnung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der
Magnetfelderzeuger jeweils eine elektrische Spule ist.
3. Anordnung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der
Magnetfelderzeuger ein Dauermagnet ist.
4. Anordnung gemäß Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass
der Sensor ein Kraft-Weg-Messsystem ist.
5. Anordnung gemäß Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass
der Sensor ein Magnetometer ist.
6. Anordnung gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass dem
Kraft-Weg-Messsystem ein mechanisches Wirkprinzip zu Grunde
liegt.
7. Anordnung gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass dem
Kraft-Weg-Messsystem ein optisches Wirkprinzip zu Grunde liegt.
8. Anordnung gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass dem
Kraft-Weg-Messsystem ein elektrisches Wirkprinzip zu Grunde liegt.
9. Anordnung gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass dem
Kraft-Weg-Messsystem ein akustisches Wirkprinzip zu Grunde liegt.

10. Anordnung gemäß den Ansprüchen 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass dem Kraft-Weg-Messsystem eine Kombination von mindestens zwei Wirkprinzipien zu Grunde liegt.
- 5 11. Anordnung gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Kraft-Weg-Messsystem einen Messkörper enthält, der sich im homogenen Magnetfeld des Magnetfelderzeugers befindet in diesem im Wesentlichen parallel zu den Magnetfeldlinien verstellbar angeordnet ist.
- 10 12. Anordnung gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Messkörper am Magnetfelderzeuger flexibel gelagert ist.
- 15 13. Anordnung gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Messkörper aus einem weichmagnetischen Material besteht.
14. Anordnung gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Messkörper aus einem hartmagnetischen Material besteht.
- 20 15. Anordnung gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor mindestens ein ein-, zwei-, oder dreiachsiges Magnetometer ist.
- 25 16. Anordnung gemäß Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetometer auf dem Hall-Effekt beruht.
17. Anordnung gemäß Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetometer auf dem magnetoresistiven Prinzip beruht.
- 30 18. Anordnung gemäß den Ansprüchen 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Magnetfelderzeuger im Wesentlichen koaxial mindestens ein weiterer Magnetfelderzeuger angeordnet ist.
- 35 19. Anordnung gemäß den Ansprüchen 1 und 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetfeld zumindest eines Magnetfelderzeugers veränderbar ist.

20. Anordnung gemäß den Ansprüchen 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der Magnetfelderzeuger als runde oder eckige Spulen gestaltet sind.
- 5
21. Anordnung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie mehrere Magnetfelderzeuger und Magnetsensoren in einer Fläche aufweist, die der Oberfläche des Mediums entspricht.
- 10
22. Anordnung gemäß den Ansprüchen 1 und 21, dadurch gekennzeichnet, dass den Magnetfelderzeugern auf ihren geometrischen Achsen mehrere Magnetsensoren nacheinander angeordnet sind.
- 15
23. Verfahren zur Ortung von magnetischen oder magnetisierbaren Objekten, die sich in nichtmagnetischen Medien befinden, gekennzeichnet durch die Erzeugung eines primären Magnetfeldes mit Hilfe von Spulen, Elektromagneten oder Dauermagneten, dem die Objekte ausgesetzt werden, Bestimmung der örtlichen Verteilung des magnetischen Streufeldes der Objekte, Messung des magnetischen Streufeldes an definierten Orten mit Hilfe von Sensoren.
- 20
24. Verfahren zur Ortung von magnetischen oder magnetisierbaren Objekten, die sich in nichtmagnetischen Medien befinden, gekennzeichnet durch die Erzeugung eines primären Magnetfeldes mit Hilfe von Spulen, Elektromagneten oder Dauermagneten, dem die Objekte ausgesetzt werden, Bestimmung der örtlichen Verteilung des magnetischen Streufeldes der Objekte und Messung des Gradienten des magnetischen Streufeldes an definierten Orten mit Hilfe von Sensoren.
- 25
- 30
25. Verfahren gemäß Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Messungen des magnetischen Streufeldes mit im Voraus ermittelten analytisch-numerischen Werten verglichen werden.
- 35

- 20 -

26. Verfahren gemäß Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Messungen mit im Voraus empirisch ermittelten Werten verglichen werden.

1 / 5

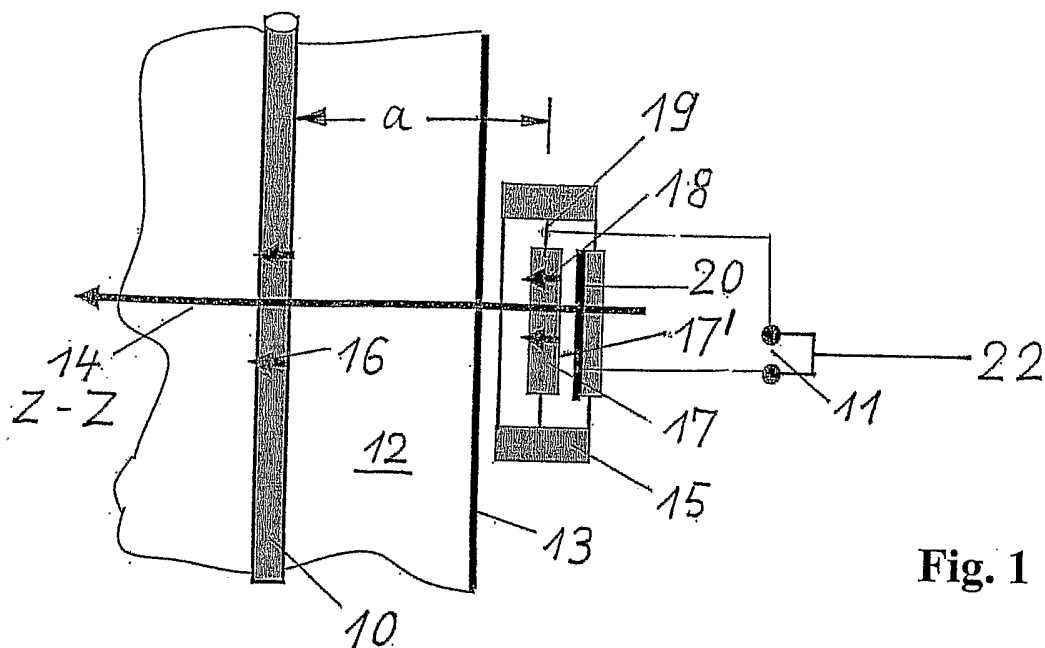


Fig. 1

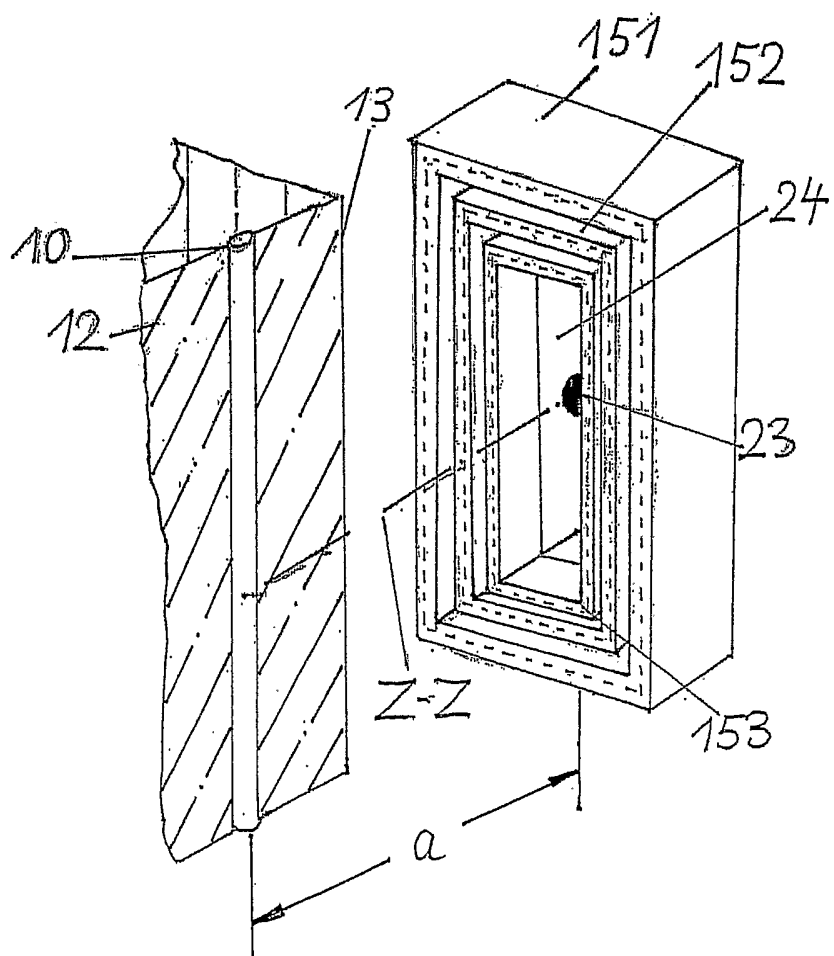


Fig. 5

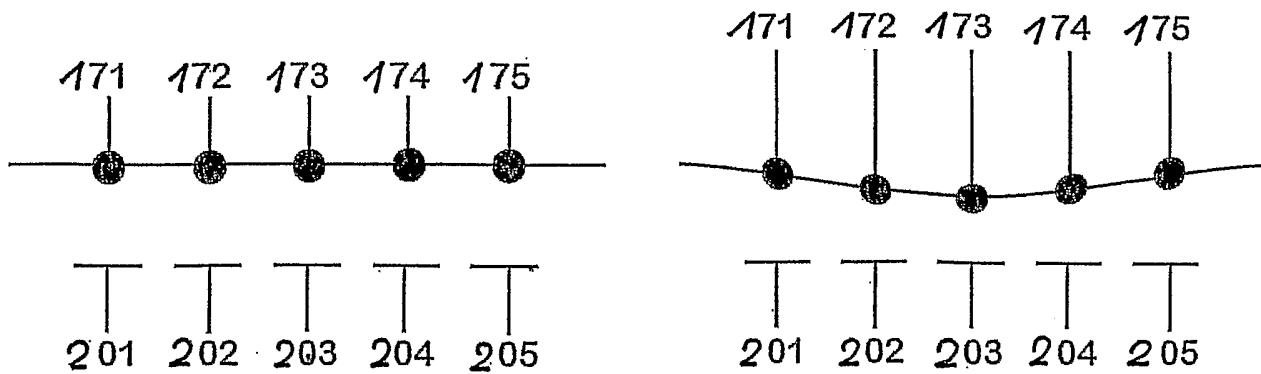


Fig. 2

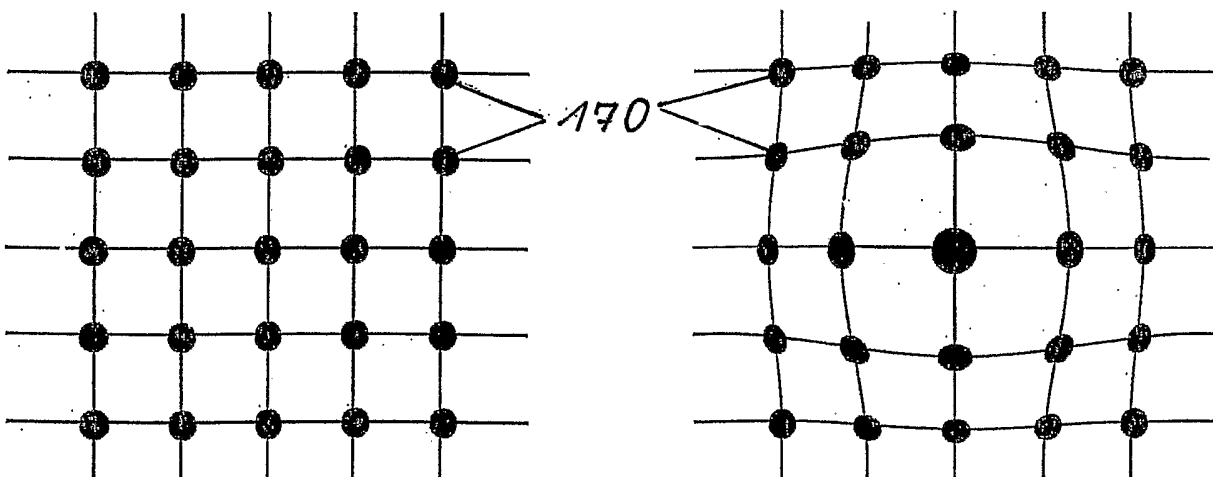


Fig. 3

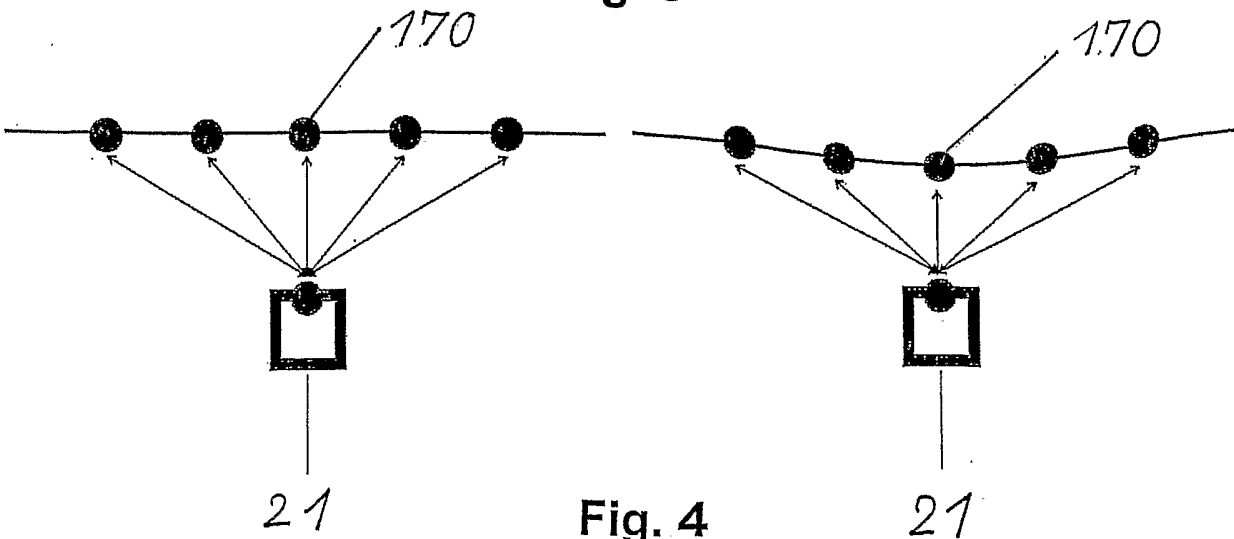


Fig. 4

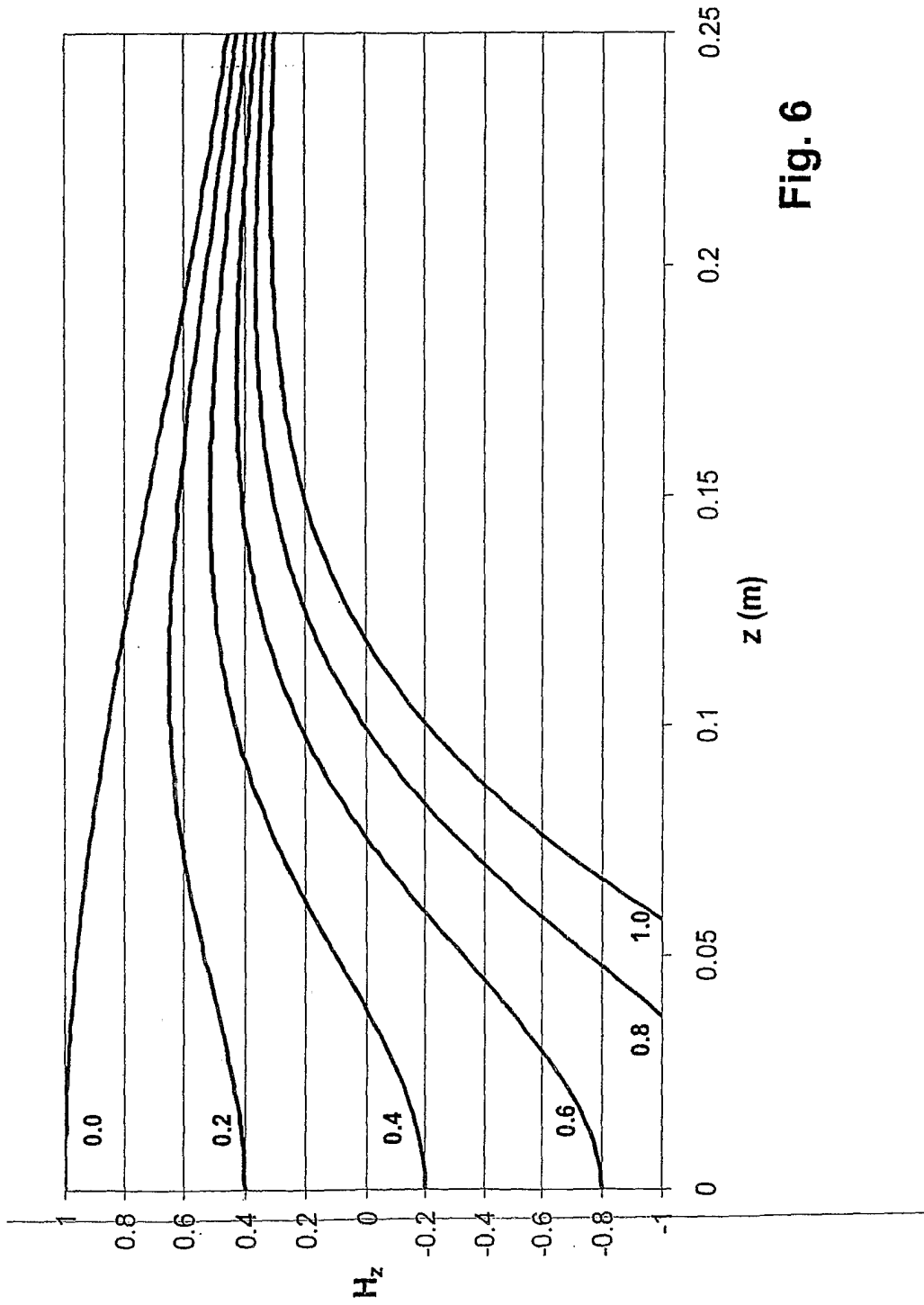


Fig. 6

4/5

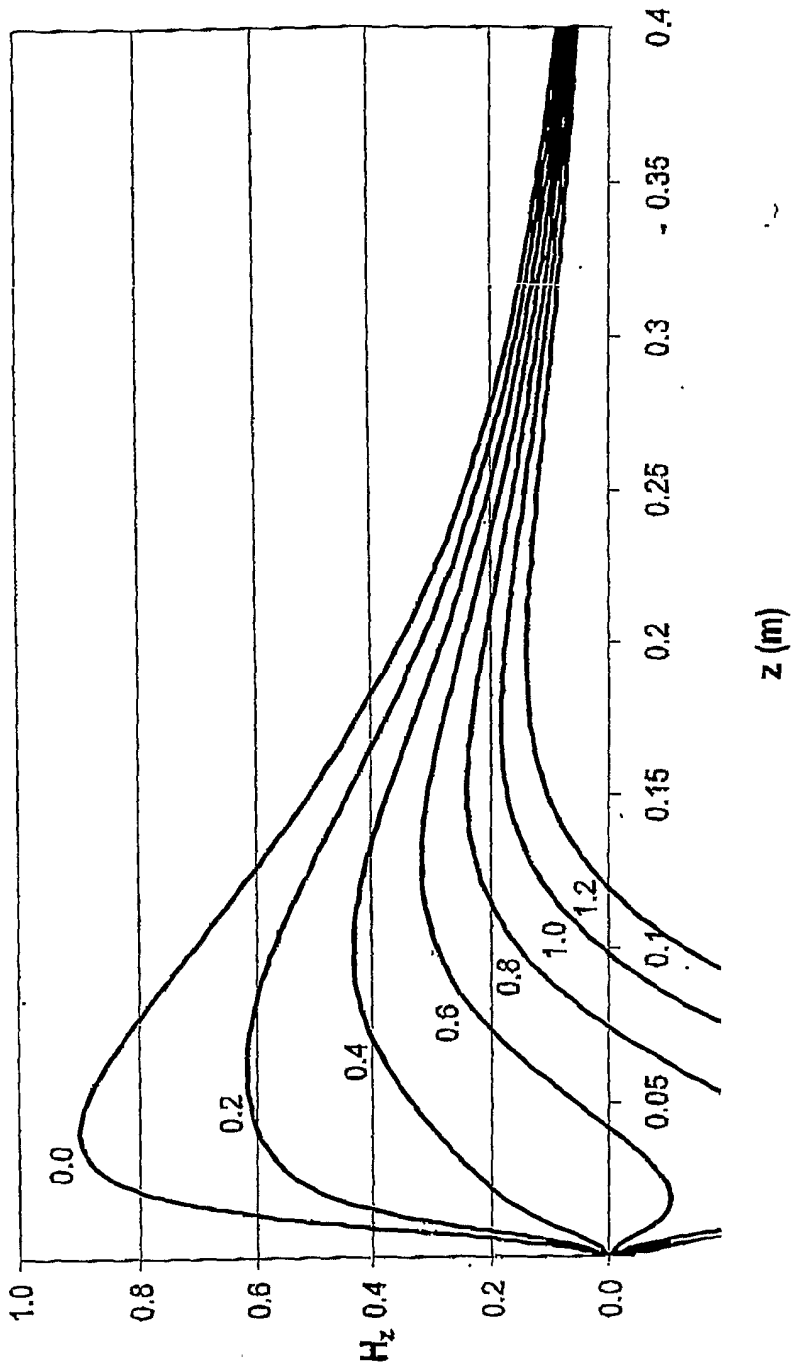


Fig. 7

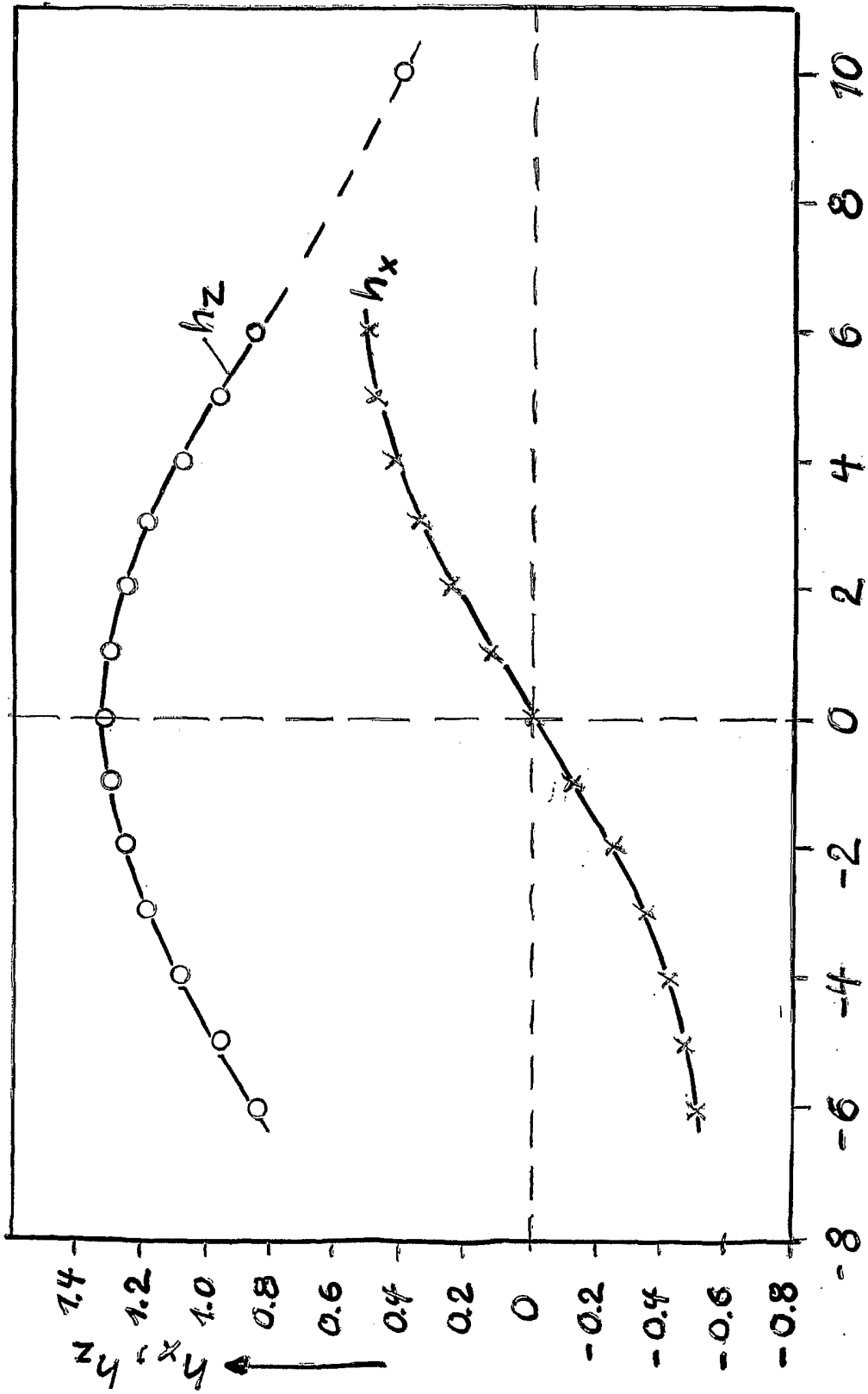


Fig. 8

→ x (cm)